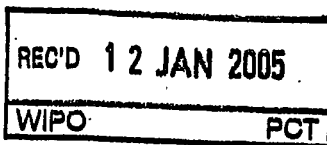


**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 103 41 257.3
Anmeldetag: 04. September 2003
Anmelder/Inhaber: Deutsche Telekom AG,
53113 Bonn/DE
Bezeichnung: Verfahren zur Bestimmung der PMD-induzierten
Ausfallwahrscheinlichkeit eines optischen
Übertragungssystems
IPC: H 04 B 10/08

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 07. Oktober 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Remus

Verfahren zur Bestimmung der PMD-induzierten Ausfallwahrscheinlichkeit eines optischen Übertragungssystems

Erfinder:

W. Weiershausen (ET163e), Dr. A. Mattheus (ET163c), Dr. R. Leppla (ET163g)
T-Systems, Systems Integration, Technologiezentrum,
Anschrift: Am Kavalleriesand 3 / D-64295 Darmstadt

Dr. Yutaka Miyamoto, Dr. Akira Hirano, Dr. Yoshiaki Kisaka
NTT Network Innovation Laboratories
Photonic Transport Network Laboratory
1-1 Hikari-No-Oka Yokosuka-Shi Kanagawa 239-0847 Japan

TZ Darmstadt, 4. Sept. 2003

Stand der Technik

Polarisationsmodendispersion (PMD) ist eine wohlbekannte Eigenschaft von optischen Elementen (OE) wie z.B. Glasfasern (Gf), optischen Multiplexern (OM), optischen Verstärkern (OV), usw.. Die PMD beruht auf dem Phänomen, dass bei der Einkopplung eines opt. Signals in ein OE i.a. mehrere sog. Polarisationsmoden angeregt werden, die sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten. Dies führt am Ausgang des OE zu einer Verzerrung des optischen Signals.

Bei einem optischen Übertragungssystem (Ü-System) werden nun mehrere OE kaskadiert, wodurch die von allen OE verursachten PMD-bedingten Signalverzerrungen akkumuliert werden. Das System arbeitet noch in einem zulässigen Bereich, wenn diese Signalverzerrungen innerhalb bestimmter Toleranzgrenzen liegen. Bei einem digitalen optischen Signal ist die Bitfehlerrate (BER) das typische Maß für zulässige Signalveränderungen: ab einer bestimmten Schwellwert-Bitrate B_{th} wird die opt. Signalübertragung als fehlerhaft eingestuft.

Es gibt Verfahren, um die PMD der einzelnen OE zu messen (s. z.B. [ITU-T Recommendation G.650.2]). Weiterhin ist ein Modell vorhanden, das die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von DGD-Werten angibt, wenn zuvor PMD-Werte gemessen worden sind (s. z.B. [IEC/TR 61282-3] und [ITU-T Rec. G.691]). Allerdings wird mit der DGD nur ein Teil der PMD-Effekte dargestellt. Vor allem aber fehlt ein messtechnisches Verfahren zur Bestimmung der PMD-induzierten Ausfallwahrscheinlichkeit (engl. „outage probability“, abgekürzt OP) eines optischen Ü-Systems. In dieser Erfindungsanmeldung wird nun beschrieben, wie diese PMD-induzierte OP gemessen und damit auch spezifiziert werden kann.

Beschreibung der Grundidee

Die Grundidee dieser Erfindungsanmeldung wird nachfolgend kurz beschrieben.

Die Polarisationszustände (Pol.-Zustände) eines opt. Ü-Systems und des darauf transportierten opt. Signals sind örtlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen. Ursache für die Änderungen der Pol.-Zustände sind u.a. mechanischer Natur (Erschütterungen, Spannungen, usw.), Temperatureffekte und andere physikalische Einflussgrößen. Die Zeitkonstanten dieser genannten Schwankungen der Pol.-Zustände liegen im Bereich von Millisekunden bis zu mehreren Wochen (je nach Art und Anzahl der installierten opt. Elemente, Umweltbedingungen, usw.).

Während der Lebensdauer eines opt. Ü-Systems stellen sich (z.B. durch Umweltbedingungen, mechanische Erschütterungen) die unterschiedlichsten Pol.-Zustände bei den einzelnen OE, beim gesamten opt. Ü-System und beim opt. Signal ein. Bei manchen Pol.-Zuständen führt das zu Verzerrungen des opt. Signals außerhalb des Toleranzbereiches (s.o.). Es ist wünschenswert, die möglichen bzw. wahrscheinlichen Pol.-Zustände eines opt. Ü-Systems und den Anteil der polarisationsbedingten Systemausfälle (Signal liegt außerhalb des Toleranzbereiches) in einem vertretbaren Zeitraum experimentell zu simulieren und zu messen (z.B. in einer realitätsnahen Testmessung vor Inbetriebnahme des Systems). In der Praxis kann man nämlich nicht Monate warten, bis sich all diese Pol.-Zustände eingestellt haben, mit denen man später im Systembetrieb rechnen kann. Ebenso kann man nicht über Monate hinweg alle kurzzeitigen Polarisationschwankungen (und die Auswirkungen auf das opt. Signal) überwachen.

Die Lösung (und Patentidee) sind „provozierte“ Einwirkungen auf das opt. Ü-System und das opt. Signal mit dem Ziel, die Pol.-Zustände zu verändern. Es genügt dabei z.B. nicht, nur die Eingangspolarisation des opt. Signals zu variieren und alle anderen Pol.-Zustände des opt. Ü-Systems konstant zu lassen. Vielmehr müssen alle Pol.-zustände im opt. Ü-System „durchgestimmt“ werden. Beim Durchstimmen all dieser Pol.-zustände wird jeweils überprüft, ob das opt. Signal innerhalb oder außerhalb des Toleranzbereiches liegt, und daraus wird dann die PMD-induzierte (also polarisationsbedingte) Ausfallwahrscheinlichkeit (OP) des opt. Ü-Systems ermittelt. Durch weitere Zusatzmaßnahmen (z.B. Einfügen von Dämpfungsgliedern) kann die Messzeit zur Bestimmung dieser PMD-induzierten OP eines opt. Ü-Systems weiter verkürzt werden.

Beschreibung und Patentansprüche

- {0} Messverfahren zur Bestimmung der PMD-induzierten Ausfallwahrscheinlichkeit (engl. „Outage Probability“, abgekürzt OP) eines optischen Ü-Systems
- {1} Das opt. Ü-System besteht aus optischen Elementen (OE), die in beliebiger topologischer Form (seriell, parallel) miteinander verschaltet sind.
- {1-1} Ein OE kann eine beliebige Anzahl von opt. Eingängen oder Ausgängen haben; mindestens ist ein opt. Eingang oder ein opt. Ausgang vorhanden. Beispiele für OE sind opt. Sender (Tx), opt. Empfänger (Rx), Glasfaser (Gf), Freiluftstrecke, opt. Multiplexer (OMUX), opt. Demultiplexer (ODEMUX), opt. Verstärker (OA), PMD-Kompensator (PMDC).
- {1-2} Ein häufiger Spezialfall eines opt. Ü-Systems ist eine opt. Ü-Strecke aus seriell angeordneten OE. Hiervon ist ein Spezialfall eine opt. Ü-Strecke, die mit einem Tx beginnt, gefolgt von Gf-Abschnitten und anderen OE, und die mit einem Rx abgeschlossen wird.
- {2} Das Messverfahren bezieht sich auf die OP, die durch die PMD-induzierte Degradation des optischen Signals (OSig) zwischen zwei OE (hier OE1 und OE2 genannt) des opt. Ü-Systems verursacht wird. Diese zwei OE können Tx und Rx sein, jedoch sind auch beliebige OE möglich.
- {3} Das OSig kann digital oder analog sein.
- {4} Am OE2 wird ein bestimmtes Signalmerkmal gemessen (oder indirekt bestimmt), z.B. Bitfehlerrate (BER), Eye Opening Penalty (EOP), Amplitude. Eine indirekte Bestimmung des Signalmerkmals ist z.B. durch Abzweigen eines Teils des OSig vor dem OE2 durch einen opt. Koppler möglich.
- {5} Das opt. Ü-System arbeitet fehlerhaft, wenn das Signalmerkmal am OE2 eine bestimmte Schwellwertbedingung (Swb) nicht erfüllt. Beispiele für Swb sind max. BER, max. EOP und sonstige max. zulässige analoge Signalverzerrungen (ASV) – z.B. max. Amplitudenerhöhung.
- {6} Die OP ist der Zeitanteil, in dem das OSig am OE2 die Swb nicht erfüllt, d.h.
$$OP = (\Sigma T_{\text{out-n}}) / T_{\text{total}} \quad (\text{s. auch Fig. 1}).$$
- {7} Die Polarisations-Zustände des OSig und der einzelnen OE werden durch äußere oder innere Eingriffe verändert. Bei all den dadurch hervorgerufenen Einstellungen der Pol.-Zustände wird jeweils gemessen, ob am OE2 die Swb erfüllt ist oder nicht. Dann wird die OP gemäß $OP = (\Sigma T_{\text{out-n}}) / T_{\text{total}}$ bestimmt (zur Formel s. Abkürzungsverzeichnis).
- {7-1} Ein Sonderfall von {7} ist die Nutzung von Polarisations-Stellgliedern (PCon) oder von Polarisation-Scramblern (P-SCR).
- {7-1-1} Ein Sonderfall von {7-1} ergibt sich aus einer opt. Ü-Strecke mit seriell angeordneten OE (nach {1-2}), wo Gf-Abschnitte und andere OE abwechselnd aneinander gereiht werden. An verschiedenen Stellen der opt. Ü-Strecke werden P-Cons oder P-SCRs eingefügt. Die jeweilige Anordnung der PCs bzw. P-SCRs richtet sich nach den im Einzelfall verwendeten OE und ggf. nach deren speziellen Parameterwerten.
- {7-1-1-1} Ein Sonderfall von {7-1-1} ergibt sich aus einer Ü-Strecke mit zwei Gf-Abschnitten (s. Fig. 2). Diese Strecke beginnt mit einem opt. Sender (Tx), gefolgt von einem P-SCR, einem Gf-Abschnitt, einem P-Con oder P-SCR, einem optionalen OA, dem zweiten Gf-Abschnitt und dem opt. Empfänger (Rx). An dieser sehr speziellen Anordnung wurden techn. Einzelheiten des Verfahrens im Detail untersucht.
- {8} Eine Abwandlung von {7} besteht darin, das opt. Ü-System gezielt zu verändern (gegenüber dem tatsächlichen betrieblichen Einsatz) und für dieses modifizierte opt. Ü-System die OP zu bestimmen, um danach Rückschlüsse auf die OP des opt. Ü-Systems ohne diese Veränderung zu machen.
Diese Methode ist besonders dann hilfreich, wenn die Messzeit zur OP-Bestimmung

ohne diese Veränderung zu groß ist (weil dann die OP zu klein – und statistisch nicht messbar - ist).

- {8-1} Ein Beispiel von {8} ist die Einführung eines Dämpfungsgliedes vor dem Rx (im tatsächlichen Systembetrieb würde dieses zusätzliche Dämpfungsglied entfallen). Die OP wird dann mit dieser Zusatzdämpfung ΔR bestimmt, was die Messzeit (gegenüber keiner Zusatzdämpfung) verkürzt. Wird insbesondere diese Messung mit verschiedenen Zusatzdämpfungswerten ΔR durchgeführt, kann dadurch für die einzelnen ΔR -Werte jeweils das Signalmerkmal (s. {4}) – z.B. die BER - als auch die OP bestimmt werden. Im Nachgang lässt sich dann die OP des Ü-Systems ohne Zusatzdämpfung bestimmen.

Abkürzungen

ASV	analoge Signalverzerrungen
BER	Bit Error Ratio (Bitfehlerrate)
DGD	Differential Group Delay
EOP	Eye Opening Penalty
Gf	Glasfaser
OE	optisches Element
OP	Outage probability (Ausfallwahrscheinlichkeit)
OSig	optisches Signal
OV	Optischer Verstärker
P-Con	Polarisation Controller (Polarisations-Stellglied)
P-SCR	Polarisation Scrambler
Pol	Polarisation
Rx	Optischer Empfänger
Swb	Schwellwertbedingung
T_{in} bzw. T_{out}	Zeitintervall, in dem die Swb erfüllt bzw. nicht erfüllt ist.
T_{in-n} bzw. T_{out-n}	Zeitintervall Nr. n, in dem die Swb erfüllt bzw. nicht erfüllt ist.
T_{total}	Gesamter Beobachtungszeitraum
Tx	Optischer Sender
Ü-	Übertragungs- (Ü-System = Übertragungssystem)

Abbildungen

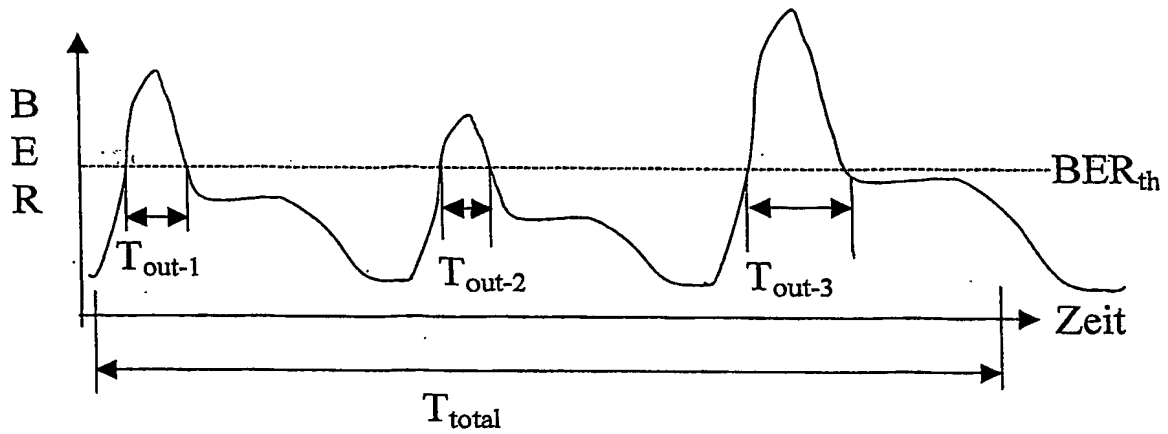


Fig. 1: Illustration der Ausfallwahrscheinlichkeit (engl. „Outage Probability“) am Beispiel der BER eines digitalen optischen Signals

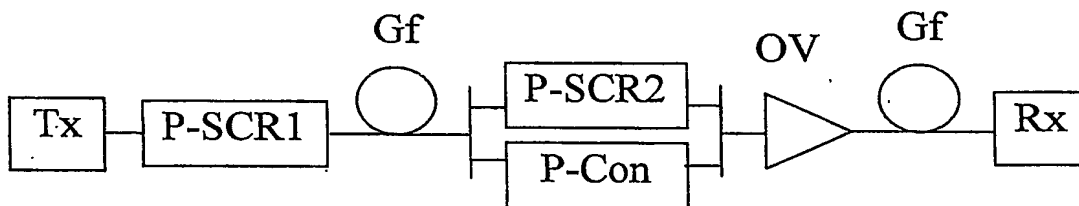


Fig. 2: Illustration zur Messung der Ausfallwahrscheinlichkeit (OP) anhand des speziellen Beispiels {7-1-1-1}